

УДК 504.064.2.001.18

Бувевич А.Г., Рахматова А.Ю., Сергеев А.П., Баглаева Е.М., Шичкин А.В., Субботина И.Е., Сергеева М.В., Маркелов Ю.И.

Оптимизация разбиения исходных данных для предсказания пространственного распределения хрома нейронной сетью прямого распространения

В работе предложен подход для оптимизации разбиения исходных данных на обучающее и тестовое подмножества при моделировании пространственного распределения признака методом искусственных нейронных сетей (ИНС). Подход учитывает пространственные неравномерности и разброс значений моделируемой переменной. Исследование выполнено на основе данных, полученных во время почвенного скрининга урбанизированных территорий в Российской субарктической зоне: городах Тарко-Сале и Ноябрьск. Для моделирования был выбран химический элемент хром (Cr). В г. Тарко-Сале были обнаружены области с аномально высоким значением моделируемого элемента. В г.Ноябрьске аномалий в значениях содержания Cr выявлено не было. Методом многослойного перцептрона (МЛП) построены пространственные распределения Cr в поверхностном слое почвы. Структура МЛП была выбрана методом компьютерного моделирования на основе минимизации среднеквадратической ошибки (*RMSE*). Проведено сравнение моделей, использующих полностью случайное разбиение исходных данных на обучающее и тестовое подмножество, и моделей, которые строились на основе предложенного подхода. Для каждого из подходов вычислялись средняя абсолютная ошибка (*MAE*), среднеквадратическая ошибка (*RMSE*) и среднеквадратическая относительная ошибка (*RMSRE*). Для обеих территорий модели, использующие предложенный подход, показали более точные результаты (улучшение составило до 50%).

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, многослойный перцептрон, моделирование, разбиение, выборка.

Buevich A.G., Sergeev A.P., Rakhmatova A.Yu., Baglaeva E.M., Shichkin A.V., Subbotina I.E., Sergeeva M.V., Markelov Yu.I. Optimization of the initial data division for prediction chromium spatial distribution by a feedforward neural network

The article proposes an approach to optimize the division of initial data into training and test subsets for modeling the spatial distribution of a component using artificial neural networks (ANN). This approach takes into account the spatial irregularities and the scatter values of the modeled component. Data were obtained during soil screening of urban areas in the Russian subarctic zone: Tarko-Sale and Noyabrsk cities. For modeling, the chemical element chromium (Cr) was chosen. On Tarko-Sale, areas with an abnormally high value of the modeled element were discovered. On Noyabrsk, no anomalies in Cr values were detected. Using the feedforward neural network multilayer perceptron (MLP) method, Cr spatial distribution in the surface soil layer is constructed. The MLP structure was chosen by computer simulation based on minimizing the root mean square error (*RMSE*). Comparison of the models that use random division of the initial data into a training and test subset, and models that are based on the proposed approach was performed. For each approach, the mean absolute error (*MAE*), *RMSE*, and the mean square relative error (*RMSRE*) were calculated. For both areas, models using the proposed approach showed more accurate results (up to 50% improvement).

Keywords: artificial neural networks, multilayer perceptron, modeling, sampling.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sergeev A.P., Buevich A.G., Baglaeva E.M., Shichkin A.V. Combining spatial autocorrelation with machine learning increases prediction accuracy of soil heavy metals // *Catena*. – 2019. – Vol. 174. – P. 425-435.
2. Guo G.H., Wu F., Xie F., Zhang R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China // *Journal of Environmental Sciences*. – 2012. – Vol. 24, Issue 3. – P. 410-418.
3. Liu F., He X., Zhou L. Application of generalized regression neural network residual kriging for terrain surface interpolation // *Proc. SPIE 7492, International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining*. – 2009. – 74925F.
4. Land cover and landscape as predictors of groundwater contamination: a neural-network modelling approach applied to Dobrogea, Romania / R.R. Shaker [et al.] // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. – 2010. – Vol. 11, Issue 1. – P. 337-348.
5. Shaker R.R., Ehlinger T.J. Exploring non-linear relationships between landscape and aquatic ecological condition in southern Wisconsin: A GWR and ANN approach // *International Journal of Applied Geospatial Research*. – 2014. – Vol. 5, Issue 4. – P. 1-20.
6. Use of trans-Gaussian kriging for national soil geochemical mapping in Ireland / C. Zhang [et al.] // *Geochemistry: Exploration Environment Analysis*. – 2008. – Vol. 8, Issue 3-4. – P. 255-265.
7. Koike K., Matsuda S., Suzuki T., Ohmi M. Neural Network-Based Estimation of Principal Metal Contents in the Hokuroku District, Northern Japan, for Exploring Kuroko-Type Deposits // *Natural Resources Research*. – 2002. – Vol. 11, Issue 2. – P. 135-156.
8. Samanta B., Ganguli R., Bandopadhyay S. Comparing the Predictive Performance of Neural Networks with Ordinary Kriging in a Bauxite Deposit // *Transactions of Institute of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Technology*. – 2005. – Vol. 114, Issue 3. – P. 129-139.
9. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau / F. Dai [et al.] // *Ecological Indicators*. – 2014. – Vol. 45. – P. 184-194.
10. Falamaki A. Artificial neural network application for predicting soil distribution coefficient of nickel // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2014. – Vol. 115. – P. 6-12.
11. Li Y., Li C., Tao J.-J., Wang L.-D. Study on Spatial Distribution of Soil Heavy Metals in Huizhou City Based on BP-ANN Modeling and GIS // *Procedia Environmental Sciences*. – 2011. – Vol. 10. – P. 1953-1960.
12. Qualitative and quantitative investigation of chromium-polluted soils by laser-induced breakdown spectroscopy combined with neural networks analysis / J.-B. Sirven [et al.] // *Anal Bioanal Chem*. – 2006. – Vol. 385, Issue 2. – P. 256-262.
13. Anagu I., Ingwersen J., Utermann J., Streck T. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks // *Geoderma*. – 2009. – Vol. 152. – P. 104-112.
14. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. – М. : Изд-во МГУ ; Изд-во «КолосС», 2004. – 460 с.
15. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагет [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
16. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 479 с.

REFERENCES

1. Sergeev A.P., Buevich A.G., Baglaeva E.M., Shichkin A.V. Combining spatial autocorrelation with machine learning increases prediction accuracy of soil heavy metals // *Catena*. 2019. Vol. 174. P. 425-435.
2. Guo G.H., Wu F., Xie F., Zhang R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China // *Journal of Environmental Sciences*. 2012. Vol. 24, Issue 3. P. 410-418.
3. Liu F., He X., Zhou L. Application of generalized regression neural network residual kriging for terrain surface interpolation // *Proc. SPIE 7492, International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining*. 2009. 74925F.

4. Land cover and landscape as predictors of groundwater contamination: a neural-network modelling approach applied to Dobrogea, Romania / R.R. Shaker [et al.] // Journal of Environmental Protection and Ecology. 2010. Vol. 11, Issue 1. P. 337-348.
5. Shaker R.R., Ehlinger T.J. Exploring non-linear relationships between landscape and aquatic ecological condition in southern Wisconsin: A GWR and ANN approach // International Journal of Applied Geospatial Research. 2014. Vol. 5, Issue 4. P. 1-20.
6. Use of trans-Gaussian kriging for national soil geochemical mapping in Ireland / C. Zhang [et al.] // Geochemistry: Exploration Environment Analysis. 2008. Vol. 8, Issue 3-4. P. 255-265.
7. Koike K., Matsuda S., Suzuki T., Ohmi M. Neural Network-Based Estimation of Principal Metal Contents in the Hokuroku District, Northern Japan, for Exploring Kuroko-Type Deposits // Natural Resources Research. 2002. Vol. 11, Issue 2. P. 135-156.
8. Samanta B., Ganguli R., Bandopadhyay S. Comparing the Predictive Performance of Neural Networks with Ordinary Kriging in a Bauxite Deposit // Transactions of Institute of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Technology. 2005. Vol. 114, Issue 3. P. 129-139.
9. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau / F. Dai [et al.] // Ecological Indicators. 2014. Vol. 45. P. 184-194.
10. Falamaki A. Artificial neural network application for predicting soil distribution coefficient of nickel // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 115. P. 6-12.
11. Li Y., Li C., Tao J.-J., Wang L.-D. Study on Spatial Distribution of Soil Heavy Metals in Huizhou City Based on BP-ANN Modeling and GIS // Procedia Environmental Sciences. 2011. Vol. 10. P. 1953-1960.
12. Qualitative and quantitative investigation of chromium-polluted soils by laser-induced breakdown spectroscopy combined with neural networks analysis / J.-B. Sirven [et al.] // Anal Bioanal Chem. 2006. Vol. 385, Issue 2. P. 256-262.
13. Anagu I., Ingwersen J., Utermann J., Streck T. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks // Geoderma. 2009. Vol. 152. P. 104-112.
14. Dobrovolsky G.V., Urusevskaya I.S. Soils geography. Moscow : MSU Publishing House ; Kolos-s Publishing House, 2004. 460 p.
15. Environment Geochemistry / Yu.E. Saet [et al.]. Moscow : Nedra, 1990. 335 p.
16. Geochemistry handbook / G.V. Voitkevich [et al.]. Moscow : Nedra, 1990. 479 p.

Буевич Александр Геннадьевич, инженер лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: bagalex3@gmail.com.

Buevich Alexander Gennadyevich, Engeneer in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: bagalex3@gmail.com.

Рахматова Анна Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: anyarakhmatoва@gmail.com.

Rakhmatova Anna Yuryevna, Junior Researcher in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: anyarakhmatoва@gmail.com.

Сергеев Александр Петрович, кандидат физико-математических наук, и.о. заведующего лабораторией физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: aleksandrpsergeev@gmail.com.

Sergeev Aleksandr Petrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Head in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: aleksandrpsergeev@gmail.com.

Баглаева Елена Михайловна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: elenbaglaeva@gmail.com.

Baglaeva Elena Mikhailovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: elenbaglaeva@gmail.com.

Шичкин Андрей Васильевич, инженер лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: and@ecko.uran.ru.

Shichkin Andrey Vasilevich, Engeneer in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: and@ecko.uran.ru.

Субботина Ирина Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: iesub@mail.ru.

Subbotina Irina Evgenievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: iesub@mail.ru.

Сергеева Марина Викторовна, научный сотрудник лаборатории физики и экологии Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: marin@ecko.uran.ru.

Sergeeva Marina Viktorovna, Researcher in Laboratory of Physics and Ecology, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: marin@ecko.uran.ru.

Маркелов Юрий Иванович, кандидат физико-математических наук, начальник ЦКП Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ УрО РАН). 620219, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: markelov@ecko.uran.ru.

Markelov Yuri Ivanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head in the Center of Collective Use, Institute of Industrial Ecology UB RAS. 620219, Ekaterinburg, S. Kovalevskaya str., 20. E-mail: markelov@ecko.uran.ru.

Баранов А.И.

Локальная корреляция пространственных геологических данных на основе сравнения значений градиентов полей

Разработаны теоретическая основа и математическая модель локальной корреляции двух пространственных переменных. Она отражает согласованность изменения величин в зависимости от пространственного положения. Предлагаемая методика базируется на представлении пространственных переменных в виде непрерывных полей и сравнении их градиентов. Разработан алгоритм нахождения локальной корреляции, на основе которого создана программа для автоматического построения корреляционных поверхностей. Технология апробирована на данных площадной литохимической съемки, но также применима для обработки любых других пространственно распределенных данных.

Ключевые слова: локальная корреляция, поисковая геохимия, интерполяция, моделирование в геологии, поверхность, ГИС, Заонежье.

Baranov A.I.

Local correlation of spatial geological data based on the comparison of field gradient values

Theoretical basis and its mathematical model for local correlation of two spatial variables have been developed. It reflects coherent change of values depending on the spatial position. The proposed method is based on the representation of spatial variables in the form of continuous fields and their gradients' comparison. Local correlation algorithm has been developed and used for the automatic creation of correlation surfaces. The technology has been tested on the areal litho-geochemical surveying data. It also can be used for the processing of any other spatially distributed data.

Keywords: local correlation, applied geochemistry, interpolation, geological modelling, surface, GIS, Trans-Onega area.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко, О.Н. Симонов, А.И. Стехин, О.И. Олешкевич, А.Н. Дедюхин, Т.Е. Теремецкая. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2005. – 98 с.
2. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии : в 2 кн. / пер. с англ. В.А. Голубевой ; под ред. Д.А. Родионова. – М. : Недра, 1990.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии : учебник для вузов. – М. : Недра, 1990. – 251 с.
4. Кулешевич Л.В., Голубев А.И. Благороднометалльная минерализация в щелочных метасоматитах Средней Падмы Онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск, 2011. – Вып. 14. – С. 113-126.
5. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник. – М. : КДУ, 2008. – 422 с.
6. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / отв. редакторы Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. – Петрозаводск : КНЦ РАН, 2011. – 431 с.
7. Певзнер В.С., Бурков Ю.К. Система обработки геохимической информации с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. – Л. : Недра, 1976. – 20 с.
8. Полеховский Ю.С., Волошин А.В., Тарасова И.П., Пахомовский Я.А., Крецер Ю.Л. Новый тип палладийсодержащей минерализации в метасоматитах Карелии // Известия АН СССР. Серия геологическая. –1991. – № 7. – С. 86-95.

REFERENCES

1. Temporary guidelines for geochemical prospecting in closed and semi-closed territories / S.V. Sokolov et al. Saint-Petersburg : VSEGEI, 2005. 98 p.
2. Davis J.C. Statistics and Data Analysis in Geology / V.A. Golubeva (English–Russian translation) Ed. D.A. Rodionov (Ed.). Vol. 1-2. Moscow, 1990.
3. Kazhdan A.B., Gus`kov O.I. Mathematical Methods in Geology : High school textbook. Moscow : Nedra, 1990. 251 p.
4. Kuleshevich L.V., Golubev A.I. Noble metals` mineralization in alkaline metasomatites of Sredn`aja Padma of Trans-Onega Area. Petrozavodsk, 2011. Vol. 14. P. 113-126.
5. Lur'e I.K. Geoinformational mapping. Geoinformatics and Digital Satellite Image Processing Methods. Textbook. Moscow : KDU, 2008. 422 p.
6. Palaeoproterozoic Onega Structure (geology, tectonics, deep structure and mineralogeny) / Executive editors: L.V. Glushanin, N.V. Sharov, V.V. Shchiptsov. Petrozavodsk, 2011. 431 p.
7. Pevzner V.S., Burkov Ju.K. System of Geochemical Information Processing for Mineral Deposits Prospecting Purposes. Leningrad : Nedra, 1976. 20 p.
8. Polekhovskij Ju.S., Voloshin A.V., Tarasova I.P., Pahomovskij Ya.A., Kreger Yu.L. New Type of mineralization containing palladium in Karelian metasomatites // Proceedings of the Academy of Sciences of USSR. Geological issue. 1991. No. 7. P. 86-95.

Баранов Анатолий Игоревич, ведущий геолог отдела региональной геохимии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ФГБУ «ВСЕГЕИ»). 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74. E-mail: anatoly_baranov@vsegei.ru.

Baranov Anatoly Igorevich, Leading Geologist of the Regional Geochemistry Department of A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FGBU «VSEGEI»). 74, Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. E-mail: anatoly_baranov@vsegei.ru.

Филатова В.Т.

Численная реализация методов интерпретации геофизических данных при построении структурно-геологической модели Цагинского габбро-лабрадоритового массива (Кольский полуостров)

На примере Цагинского габбро-лабрадоритового массива (Кольский полуостров) показаны возможности применения комплексной интерпретации данных геофизических методов в целях построения структурно-геологической модели интрузива и ориентировки будущих поисково-разведочных работ. Использовались наблюдаемые поля Δg и ΔZ (масштабы съемок – 1:100 000 и 1:50 000), результаты сейсморазведочных работ и петрофизические данные. Исследования проводились с применением численного моделирования, что впервые позволило получить количественные оценки геолого-структурного положения Цаги, вмещающей комплексные железотитанованадиевые руды.

Выполненные исследования, включающие корреляционные методы и трансформации гравитационного поля показали, что массив выглядит как пластиноподобное тело с мощностью до 3,5 км, продолжающееся в северо-восточном и восточном направлениях за пределы известных границ. Кроме этого, в его приповерхностной части были выделены 10 областей, в пределах которых распространены породы с аномальной плотностью 3,06-3,20 г/см³ и мощностью 0,8-1,1 км, которые практически выходят на поверхность и могут нести титаномагнетитовое оруденение. Полученные результаты позволяют значительно расширить перспективы массива на окисные железо-титановые руды за счет выявленных областей, в пределах которых по геофизическим данным были обнаружены породы с высокой плотностью.

Ключевые слова: комплексирование геофизических методов, численное моделирование, трансформации гравитационного поля, корреляционные методы, геолого-геофизическая модель, титаномагнетитовые руды, Кольский полуостров.

Filatova V.T.

Numerical implementation of methods for the interpretation of geophysical data in the construction of a structural-geological model of the Tsaga gabbro-labradorite massif (Kola Peninsula)

The Tsaga gabbro-labradorite massif (the Kola Peninsula) shows possibilities of applying the complex interpretation of geophysical data in order to construct a structural-geological model of the intrusion and find the direction of future exploration work. The observed fields Δg and ΔZ (the survey scales were 1:100 000 and 1:50 000), results of seismic surveys and petrophysical data have been used. The studies have been carried out using numerical modeling, which for the first time made it possible to obtain quantitative estimates of the geological and structural position of Tsaga containing complex iron-titanium-vanadium ores. The undertaken studies, including correlation methods and transformations of the gravitational field, indicated that the massif looks like a plate-like body with the thickness of up to 3,5 km, continuing in the northeast and east directions beyond the known boundaries. In addition, we have identified 10 areas in its near-surface part, where widespread rocks with the anomalous density of 3,06-3,20 g/cm³ and the thickness of 0,8-1,1 km occur. They practically reach the surface and can host a titan-magnetite mineralization. The obtained results allow us to significantly expand the massif prospects to iron-titanium oxide ores using the identified areas where the high-density rocks were found.

Keywords: integration of geophysical methods, numerical modeling, transformations of the gravitational field, correlation methods, geological and geophysical model, titanium-magnetite ores, Kola Peninsula.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верба В.В., Гаскельберг В.Г., Зайцев В.Г. Петрофизическая характеристика докембрийских комплексов северо-восточной части Кольского полуострова // Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. – Апатиты : КФАН СССР, 1976. – С. 34-38.
2. Юдин Б.А., Кацеблин П.Л. Петрофизические особенности нижнепротерозойских габбро-лабрадоритовых массивов Кольского полуострова // Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. – Апатиты : КФАН СССР, 1976. – С. 50-52.
3. Филатова В.Т., Петров В.П. Структурно-вещественные неоднородности Кейвского блока по геофизическим данным // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 3. – С. 27-34.
4. Мирская Д.Д. Супракрустальные формации Кейвской зоны // Геология и геохимия метаморфических комплексов Кольского полуострова. – Апатиты : КФАН СССР, 1975. – С. 23-35.
5. Mitrofanov F.P., Pozhilenko V.I., Smolkin V.F., Arzamastsev A.A., Yevzerov V.Ya., Lyubtsov V.V., Shipilov E.V., Nikolaeva S.B., Fedotov Zh.A. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shield). – Apatity : KSC RAS, 1995. – 145 с.
6. Петров В.П. Метаморфизм раннего протерозоя Балтийского щита. – Апатиты : КНЦ РАН, 1999. – 325 с.
7. Радченко А.Т., Балаганский В.В., Виноградов А.Н., Голионко Г.Б., Петров В.П., Пожиленко В.И., Радченко М.К. Докембрийская тектоника северо-восточной части Балтийского щита (объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:500 000). – СПб. : Наука, 1992. – 111 с.
8. Баянова Т.Б., Пожиленко В.И., Смолькин В.Ф., Кудряшов Н.М., Каулина Т.В., Ветрин В.Р. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита. – Апатиты : ГИ КНЦ РАН, 2002. – 53 с.
9. Балаганский В.В., Мыскова Т.А., Скублов С.Г. О возрасте палеопротерозойской коллизии на юго-востоке Кольского региона, Балтийский щит // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона : тр. X Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посвящ. 150-летию со дня рожд. акад. В.И. Вернадского (Апатиты, 8-9 апреля 2013 г.). – Апатиты : ГИ КНЦ РАН, 2013. – С. 13-16.
10. Лиферович Р.П., Баянова Т.Б. Цагинский массив: геохимические особенности, возрастные данные // Геология Балтийского щита и других докембрийских областей России : мат-лы 9-й молодежн. науч. конф. – Апатиты : КНЦ РАН, 1995. – С. 25-30.
11. Юдин Б.А. Габбро-лабрадоритовая формация Кольского полуострова и ее металлогения. – Л. : Наука, 1980. – 169 с.
12. Юдин Б.А. Окисные железо-титановые и железные руды магматических формаций Карелии и Кольского полуострова. – Петрозаводск : Карелия, 1987. – 213 с.
13. Минеральные месторождения Кольского полуострова / Г.И. Горбунов, И.В. Бельков, С.М. Макиевский, П.М. Горяинов, А.С. Сахаров, Б.А. Юдин, Ф.М. Онохин, Ю.В. Гончаров, Е.С. Антонюк. – Л. : Наука, 1981. – 272 с.
14. Информационный отчет о результатах обобщения сейсморазведки по Центрально-Кольскому району : Приложение № 1-ДР к «Информационному отчету на продолжение поисковых работ I очереди на платинометальное оруденение в восточной части массива Панских тундр в 2000 – 1 кв. 2002 гг.». – СПб. : Ассоциация «Росгеофизика», 2000. – 33 с.
15. Скопенко Н.Ф., Павловский В.И. Структурные геофизические исследования при поисках глубокозалегающих медно-никелевых руд в центральной части Кольского полуострова // Структурный контроль оруденения в магматических комплексах Кольского полуострова. – Апатиты : КФАН СССР, 1985. – С. 84-90.
16. Козлов Е.К. Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения. – Л. : Наука, 1973. – 288 с.

17. Каратаев Г.И., Ватлин Б.П., Захарова Т.Л. Методика комплексной геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1973. – 167 с.
18. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М. : Наука : Главная редакция физико-математической литературы, 1978. – 512 с.
19. Маловичко А.К., Тарунина О.Л. Высшие производные гравитационного потенциала и их применение при геологической интерпретации аномалий. – М. : Недра, 1972. – 152 с.
20. Шрайбман В.И., Жданов М.С., Витвицкий О.В. Корреляционные методы преобразования и интерпретации геофизических аномалий. – М. : Недра, 1977. – 237 с.
21. Филатова В.Т. Новые данные о глубинном строении Цагинского габбро-лабрадоритового массива (Кольский полуостров) // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 7. – С. 14-19.
22. Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. Геология рудных районов Мурманской области. – Апатиты : КНЦ РАН, 2002. – 359 с.

REFERENCES

1. Verba V.V., Gaskelberg V.G., Zaitsev V.G. Petrophysical characteristic of Precambrian complexes in the north-eastern part of the Kola Peninsula // Petrophysical characteristic of the Soviet part of the Baltic Shield. Apatity : KSC RAS, 1976. P. 34-38.
2. Yudin B.A., Kaceblin P.L. Petrophysical features of the Lower Proterozoic gabbro-labradorite massifs of the Kola Peninsula // Petrophysical characteristic of the Soviet part of the Baltic Shield. Apatity : KSC RAS, 1976. P. 50-52.
3. Filatova V.T., Petrov V.P. Structural and material heterogeneity of the Keivy block based on geophysical data // Prospect and protection of mineral resources. 2015. No. 3. P. 27-34.
4. Mirskaya D.D. Supracrustal formations of the Keivy Zone // Geology and geochemistry of metamorphic complexes of the Kola Peninsula. Apatity : KSC RAS, 1975. P. 23-35.
5. Mitrofanov F.P., Pozhilenko V.I., Smolkin V.F., Arzamastsev A.A., Yevzerov V.Ya., Lyubtsov V.V., Shipilov E.V., Nikolaeva S.B., Fedotov Zh.A. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shield). Apatity : KSC RAS, 1995. 145 p.
6. Petrov V.P. Early Proterozoic metamorphism in the Baltic Shield. Apatity : KSC RAS, 1999. 325 p.
7. Radchenko A.T., Balagansky V.V., Vinogradov A.N., Golionko G.B., Petrov V.P., Pozhilenko V.I., Radchenko M.K. Precambrian tectonics of the northeastern part of the Baltic Shield (explanatory note to the tectonic map 1:500 000). St. Petersburg : Nauka, 1992. 111 p.
8. Bayanova T.B., Pozhilenko V.I., Smolkin V.F., Kudryashov N.M., Kaulina T.V., Vetrin V.R. Catalogue of geochronological data on the northeastern part of the Baltic Shield. Publishing House of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Apatity : KSC RAS, 2002. 53 p.
9. Balagansky V.V., Myskova T.A., Skublov S.G. On the age of the Paleoproterozoic collision in the southeast of the Kola region, Baltic Shield // Geology and strategic minerals of the Kola region : Proceedings of the Xth All-Russian Fersman Scientific Session dedicated to the 150th anniversary of the Acad. V.I. Vernadskii (Apatity, 2013, April, 8-9). Apatity : KSC RAS, 2013. P. 13-16.
10. Liferovich R.P., Bayanova T.B. Tsaga massif: geochemical features, age data // Geology of the Baltic Shield and other Precambrian regions of Russia : Materials of the 9th youth scientific conference. Apatity : KSC RAS, 1995. P. 25-30.
11. Yudin B.A. Gabbro-labradorite formation of the Kola Peninsula and its metallogeny. Leningrad : Science, 1980. 169 p.
12. Yudin B.A. Oxide iron-titanium and iron ores of magmatic formations of Karelia and the Kola Peninsula. Petrozavodsk : Karelia, 1987. 213 p.
13. Mineral deposits of the Kola Peninsula / G.I. Gorbunov, I.V. Bel'kov, S.M. Makievsky, P.M. Goryainov, A.S. Sakharov, B.A. Yudin, F.M. Onokhin, Yu.V. Goncharov, E.S. Antonyuk. Leningrad : Science, 1981. 272 p.

14. Information report on results of the generalization of seismic exploration in the Central Kola region : Appendix No. 1-DR to the «Information report on the continuation of prospecting works of the first stage for platinum mineralization in the eastern part of the Pansky tundra massif in 2000 – 1 sq. 2002». St. Petersburg : Association «Rosgeofizika», 2000. 33 p.
15. Skopenko N.F., Pavlovsky V.I. Structural geophysical studies in search for deep-seated copper-nickel ores in the central part of the Kola Peninsula // Structural mineralization control in igneous complexes of the Kola Peninsula. Apatity : KSC RAS, 1985. P. 84-90.
16. Kozlov E.K. Natural series of rocks of nickel-bearing intrusions and their metallogeny. Leningrad : Nauka, 1973. 288 p.
17. Karataev G.I., Vatlin B.P., Zakharova T.L. Methodology for a complex geological interpretation of gravitational and magnetic anomalies. Novosibirsk : Nauka, Siberian Branch, 1973. 167 p.
18. Kalitkin N.N. Numerical methods. Moscow : Nauka : Main edition of the physics and mathematics literature, 1978. 512 p.
19. Malovichko A.K., Tarunina O.L. Higher derivatives of the gravitational potential and their application in the geological interpretation of anomalies. Moscow : Nedra, 1972. 152 p.
20. Shraibman V.I., Zhdanov M.S., Vitvitsky O.V. Correlation methods of transformation and interpretation of geophysical anomalies. Moscow : Nedra, 1977. 237 p.
21. Filatova V.T. New data on the deep structure of the Tsaga gabbro-labradorite massif (Kola Peninsula) // Prospect and protection of mineral resources. 2016. No. 7. P. 14-19.
22. Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhiron D.V., Zhabin S.V. Geology of mineral areas of the Murmansk region. Apatity : Kola Science Centre RAS, 2002. 359 p.

Филатова Валентина Тимофеевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра РАН. 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14. E-mail: filatova@geoksc.apatity.ru.
Filatova Valentina Timofeevna, Lead Researcher, Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. (Phys. & Math.). 14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia. E-mail: filatova@geoksc.apatity.ru.

Скориков Д.С., Бобырев С.В., Тихомирова Е.И.

Опыт моделирования экосистемы мелководного участка Волгоградского водохранилища с использованием геоинформационных технологий

В настоящее время очень востребованы компьютерные методы управления такими сложными системами, как природные водные объекты. Целью данной работы являлось моделирование экосистемы мелководного участка Волгоградского водохранилища с использованием геоинформационных технологий. Сформулированы критерии определения мелководных зон. Геоинформационные технологии использованы как инструмент упорядочивания и систематизации для разнородных данных, получаемых в ходе экологического мониторинга. Геокодирование использовалось нами для привязки элементов модели к выбранному исследуемому участку. В работе представлен анализ основных принципов построения модели для описания экосистемы. Охарактеризованы основные составные части моделируемой экосистемы и взаимосвязь между ними. Объяснена важность получения пространственных данных для создания компьютерной модели экосистемы. В работе были использованы авторские аппаратные средства, позволяющие проводить описания водных объектов с использованием датчиков геопозиционирования и эхолокации. Описана методика поточечного сканирования конфигурации дна. Показан метод регистрации, передачи и обработки этих данных. Описана работа авторского программного комплекса, который позволяет осуществлять упорядочивание полученных данных для создания файлов, которые могут использоваться в программе Matlab. В результате полевого исследования были собраны данные о состоянии модельного мелководного участка; созданы базы геоданных с информацией об исследуемом объекте, полученной с помощью аппаратных средств. Проведено геоинформационное моделирование мелководного участка «Черные воды» левобережья Волгоградского водохранилища вблизи г. Маркс с использованием инструментальных средств Matlab. Реализованы геоинформационные составляющие, графика и анимация, алгоритмы имитационного моделирования экосистемы на исследуемом участке. Отмечено ускоренное изменение экосистемы данного мелководья. Компьютерная модель позволила установить взаимосвязь между конфигурацией дна и переносом донных отложений, что влечет изменения в экосистеме водоема, такие, как зарастание водорослями. В свою очередь, увеличение количества водных растений влечет за собой заболачивание.

Ключевые слова: геоинформационные системы, математическое моделирование, геокодирование, экосистема, методы управления, обратная связь.

Skorikov D.S., Bobyrev S.V., Tikhomirova E.I.

Experience of using geoinformation technologies in modeling of small-water plots of the Volgograd reservoir near the marks city

Currently, computer control methods for such complex systems as natural water bodies are in demand. The aim of this work was to model the ecosystem of the shallow water section of the Volgograd reservoir using geoinformation technologies. The criteria for determining shallow water zones are formulated. Geoinformation technologies are used as a tool of ordering and systematization for heterogeneous data obtained in the course of environmental monitoring. We used geocoding to bind model elements to the selected study area. The paper presents an analysis of the basic principles of the model to describe the ecosystem. The main components of the simulated ecosystem and the relationship between them are characterized. The importance of obtaining spatial data for creating a computer model of the ecosystem is explained. The paper uses the author's hardware that allows describing water bodies using sensors of geolocation and echolocation. The technique of point-by-point scanning of the bottom configuration is described.

The method of registration, transmission and processing of this data is shown. The paper describes the work of the author's software package that allows you to organize the data to create files that can be used in the program Matlab. As a result of the field study, data on the state of the model shallow water area were collected; geodatabases with information about the object under study were created, obtained with the help of hardware. Geoinformation modeling of the shallow section «Black waters» of the left Bank of the Volgograd reservoir near Marx with the use of Matlab tools is carried out. Geoinformation components, graphics and animation, algorithms of simulation modeling of the ecosystem in the study area are implemented. The accelerated change of the ecosystem of this shallow water is noted. The computer model made it possible to establish the relationship between the configuration of the bottom and the transfer of sediments, which entails changes in the ecosystem of the reservoir, such as algae overgrowth. In turn, the increase in the number of aquatic plants leads to waterlogging.

Keywords: geoinformation systems, mathematical modeling, geocoding, ecosystem, management methods, feedback.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году. – Саратов, 2013. – 224 с.
2. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России : справочное издание / М.И. Дворецкая, А.П. Жданова, О.Г. Лушников, И.В. Слива ; под общ. ред. В.В. Берлина. – СПб. : Изд-во Политехнического ун-та, 2018. – 224 с.
3. Правила использования водных ресурсов Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского водохранилищ / НП «Научно-технический центр водохозяйственной безопасности “Вода и люди: XXI век”». – М., 2012.
4. Бунтова О.Г. Введение в ERP-системы. SAP, «Галактика ERP» : учеб. пособ. – Екатеринбург : Уральский гос. ун-т, 2007. – 167 с.
5. Скориков Д.С., Бобырев С.В. Проблемы точности при моделировании природных объектов на примере участков Волгоградского водохранилища // Математика и математическое моделирование : сб. мат-лов XI Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. Саров, СарФТИ НИЯУ МИФИ, 11-13 апреля 2017 г. – Саров : Изд-во СарФТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 180-181.
6. Щепетова В.А. Основы математического моделирования в экологии : монография. – Пенза : ПГУАС, 2015. – 122 с.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств : пер. с франц. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
8. Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти : Кассандра, 2009. – 477 с.
9. Инженерная геодезия. Современные методы геодезических измерений с использованием искусственных спутников земли : учеб. пособие / Е.Б. Михаленко, Н.Н. Загрядская, Н.Д. Беляев, В.В. Вилькевич [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 82 с.
10. Скориков Д.С. Проблемы точности при моделировании природных объектов // Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов : мат-лы Первого междунар. экологич. форума в Рязани. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2017. – С. 151-155.
11. Блум Дж. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства : пер. с англ. – СПб. : БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.
12. Программа моделирования конфигурации поверхности дна водного объекта на основе данных эхолокации / Д.С. Скориков, С.В. Бобырев, Е.И. Тихомирова : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018665968 от 09.11.2018. Номер заявки: 2018662550.

REFERENCES

1. Report on the state and environmental protection of the Saratov region in 2012. Saratov, 2013. 224 p.
2. Renewable energy. Hydroelectric power stations of Russia : Reference book / M.I. Dvoretzky, A.P. Zhdanov, O.G. Lushnikov, I.V. Sliva ; eds by V.V. Berlin. SPb : Polytechnic University, 2018. 224 p.
3. Rules of use of water resources of Kuibyshev, Saratov, Volgograd reservoirs / Scientific and technical center of water safety «Water and people: XXI century». Moscow, 2012.
4. Buntova O.G. Introduction to ERP-systems. SAP, «Galaxy ERP» : Tutorial. Yekaterinburg, 2007. 167 p.
5. Skorikov D.S., Bobyrev S.V. Problems of accuracy in modeling of natural objects on the example of sections of the Volgograd reservoir // Mathematics and mathematical modeling : The collection of materials of XI all-Russian youth scientific-innovative school. National Research Nuclear University MEPhI. B. I. Sarov Publishing house, 2017. P. 180-181.
6. Shchepetova V.A. Fundamentals of mathematical modeling in ecology: monograph. Penza : PGAS, 2015. 122 p.
7. Kofman A. Introduction to the theory of fuzzy sets : Translation from French. M. : Radio and communication, 1982. 432 p.
8. Rosenberg G.S. Volga basin: on the way to sustainable development. Tolyatti : Cassandra, 2009. 477 p.
9. Engineering geodesy. Modern methods of geodetic measurements with the use of artificial satellites : A training manual / E.B. Michalenko, N.N. Zagryadskaya, N.D. Belyaev, V.V. Milicevic [etc.]. Publishing house of Polytechnic University. Saint-Petersburg. 2009. 82 p.
10. Skorikov D.S. Problems of accuracy in modeling of natural objects // Healthy environment – the basis of regional security. Materials of the First international environmental forum in Ryazan. Ryazan : Ryazan State Agrotechnological University P.A. Kostychev, 2017. P. 151-155.
11. Jeremy Bloom. Learn Arduino: tools and techniques of technical magic : Translation from English. SPb. : BHV-Petersburg, 2015. 336 p.
12. The program of modeling the configuration of the bottom surface of the water body on the basis of echolocation data / D.S. Skorikov, S.V. Bobyrev, E.I. Tikhomirova. Certificate of State registration of computer programs No. 2018665968 from 09.11.2018. Application number: 2018662550.

Скориков Денис Сергеевич, аспирант каф. экологии СГТУ им. Гагарина Ю.А. 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Skorikov Denis Sergeevich, PhD student, DEP. Ecology, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77. Politechnicheskaya str., Saratov, Russia, 410054. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Бобырев Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор каф. экологии СГТУ им. Гагарина Ю.А. 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Bobirev Sergey Vladimirovich, Doctor of technical Sciences, Professor. DEP. Ecologies. Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya str., Saratov, Russia, 410054. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая каф. экологии СГТУ им. Гагарина Ю.А. 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Tikhomirova Elena Ivanovna, Doctor of biological Sciences, Professor. Head of caf. Ecologies, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politechnicheskaya street, Saratov, Russia, 410054. E-mail: d_skorikov@yahoo.com.

Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Васильева Е.В.

Расчет теплового возмущения термоградиентной среды при подъеме мантийно-корового мигранта

Рассмотрено приложение методов математической физики и логических аппроксимаций к решению задач распределения температурных полей между трендом поднимающегося мантийно-корового мигранта (плюмом) и окружающей средой. Четырехмерная задача (x, y, z, время) сведена к двумерной (x, время) для частного, но наиболее часто рассматриваемого случая – симметрии плюма вокруг центральной оси и равномерного характера его подъема. Разработан программный продукт Vladi Gead 3.0 для теплофизических расчетов в диапазоне «плюмовая адиабата–региональная геотерма», реализующий описанные преобразования. Показана аналогия вертикального теплового взаимодействия временных слоев с внутренним трением (вязкостью) среды, которая может быть использована при расчетах конвективного теплопереноса.

Ключевые слова: мантийно-коровый мигрант, тепловое возмущение, логические аппроксимации, аналогия Рейнольдса, компьютерное моделирование.

Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Vasilieva E.V.

Calculation of thermal perturbation of the thermogradient medium during the rise of the mantle-crustal migrant

Application of methods of mathematical physics and logical approximations to the solution of problems of distribution of temperature fields between a trend of the rising mantle-crust migrant (plume) and surrounding medium is considered. The four-dimensional problem (x, y, z, time) is reduced to the two-dimensional problem (x, time) for a particular, but the most common, case of the symmetry of the plume around the central axis and the uniform nature of its rise. A software Vladi Gear 3.0 for thermodynamic calculations in the range «plume adiabat–regional geotherms» that implements the described transformation, is developed. The analogy of the vertical thermal interaction of time layers with the internal friction (viscosity) of the medium is shown. This analogy can be used in the calculations of convective heat and mass transfer.

Keywords: mantle-crust migrant, thermal perturbation, logical approximations, Reynolds analogy, computer modeling.

Работа выполнена в рамках проекта IX.136.1.2 НИР ПФНИ ГАН «Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья», № государственной регистрации АААА-А16-116121550016-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.Н., Бурцев С.А., Егоров К.С., Кулагин А.Ю. Цилиндр в пограничном слое плоской пластины // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – № 2. – С. 3-22.
2. Васильев В.И. Объектно-ориентированный подход в компьютерном моделировании геологических явлений и процессов // Вестник ИрГСХА. – 2013. – Вып. 57, Ч. 1. – С. 79-86.
3. Васильев В.И. Программный продукт DiStat 4.0 для расчета двумерных распределений физических свойств земной коры // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле : мат-лы III Всероссийской тектонофизической конференции. – М. : ИФЗ РАН, 2012. – Т. 2. – С. 373-376.
4. Васильев В.И. Численная физико-химическая модель подъема свободного флюида в зоне субдукции // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего

- Востока России. Материалы II региональной конференции. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 108-110.
5. Васильев В.И., Васильева Е.В., Жатнуев Н.С. Миграция флюидозаполненных трещин в литосфере по результатам тектонофизического моделирования // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : мат-лы совещания. Вып. 6. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2008. – С 54-56.
 6. Васильев В.И., Васильева Е.В., Жатнуев Н.С., Санжиев Г.Д. Параметры образования и эволюции мантийно-корового мигранта // Геоинформатика. – 2019. – № 2. – С. 34-42.
 7. Васильев В.И., Жатнуев Н.С. Термодинамическая модель эволюции флюидозаполненной трещины в зоне пластично-хрупкого перехода // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле : мат-лы X Междунар. конф. – М. : ИГЕМ РАН, 2009. – С. 78-82.
 8. Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Васильева Е.В. Численная модель подъема мантийного флюида в Байкальской рифтовой зоне // Петрография магматических и метаморфических горных пород : мат-лы XII Всерос. петрографического совещания с участием зарубежных ученых. – Петрозаводск : КНЦ РАН, 2015. – С. 114-116.
 9. Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Васильева Е.В. Численная термодинамическая модель подъема флюидозаполненных трещин через зону пластично-хрупкого перехода // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : мат-лы совещания. Вып. 7. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2009. – Т. 1. – С. 48-50.
 10. Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Рычагов С.Н., Васильева Е.В., Санжиев Г.Д. Массоперенос и минералообразование в магматогенно-гидротермальных системах по результатам численного физико-химического моделирования // Литосфера, 2010. – № 3. – С. 145-152.
 11. Васильев В.И., Чудненко К.В., Жатнуев Н.С., Васильева Е.В. Комплексное компьютерное моделирование геологических объектов на примере разреза зоны субдукции // Геоинформатика, 2009. – № 3. – С. 15-30.
 12. Васильева Е. В., Васильев В.И., Жатнуев Н.С. Тектонофизическое моделирование динамики флюидсодержащих трещин в литосфере // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах : мат-лы Всерос. конф. с иностранным участием, посвящ. 50-летию СО РАН и 80-летию чл.-корр. РАН Ф.П. Кренделева. 16-18 апреля 2007 г. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. – Т. 2. – С. 122-125.
 13. Васильева Е.В., Васильев В.И. Эволюция флюидозаполненных трещин в литосфере по результатам тектонофизического моделирования // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России : мат-лы II региональной конф. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – С. 111-113.
 14. Васильева Е.В., Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Санжиев Г.Д. Тектонофизическое исследование динамики флюидозаполненных полостей в твердой пластичной среде // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле : мат-лы III Всерос. тектонофизической конф. – М. : ИФЗ РАН, 2012. – Т. 1. – С. 265-268.
 15. Васильева Е.В., Васильев В.И., Санжиев Г.Д. Процесс миграции флюидозаполненных трещин в литосфере по результатам тектонофизического моделирования // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : мат-лы совещания. Вып. 8. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2010. – Т. 1. – С. 46-47.
 16. Васильева Е.В., Жатнуев Н.С., Васильев В.И., Санжиев Г.Д. Возможность участия мантийного флюида в формировании гидротерм Байкальской рифтовой зоны по результатам тектонофизического и численного физико-химического моделирования // Геология Западного Забайкалья : мат-лы Всероссийской конференции. – Улан-Удэ : ГИН СО РАН, 2011. – С. 30-33.
 17. Жатнуев Н.С. Динамика трещинных флюидных систем в зоне пластических деформаций // Литосфера. – 2006. – № 4. – С. 149-158.

18. Жатнуев Н.С. Трансмантийные (интрателлурические) флюиды: новая модель плюмов и плюмовогомагматизма // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 8. – С. 1445-1454.
19. Жатнуев Н.С. Трансмантийные флюидные потоки и происхождение плюмов // Доклады РАН. – 2012. – Т. 444. – № 1. – С. 50-55.
20. Жатнуев Н.С. Трещинные флюидные системы в зоне пластических деформаций // Доклады РАН. – 2005. – Т. 404, №3. – С. 380-384.
21. Жатнуев Н.С., Васильев В.И., Санжиев Г.Д. Восходящая миграция флюидов в мантии. Концептуальная, расчетная и аналоговая модели // Отечественная геология. – 2013. – № 3. – С. 24-30.
22. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. – Новосибирск : Наука, 1981. – 247 с.
23. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности. – Томск : ТПУ, 2007. – 172 с.
24. Петрищевский А.М. Реологическая и геотермическая характеристики Охотоморского плюма // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 2. – С. 65-76.
25. Путилов К.А. Курс физики. – Т. 1: Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика. – М. : Физматлитгиз, 1963. – 560 с.
26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019613814. Российская федерация. Vladi OverPressure – программа для параметрического моделирования образования и эволюции мантийно-корового мигранта / Васильев В.И., Васильева Е.В., Жатнуев Н.С.; правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – №2019612231 ; заявл. 06.03.2019 ; зарегистр. 22.03.2019 ; опублик. 22.03.2019, Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 4.
27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664295. Российская Федерация. Vladi Distat – программа для расчета двумерных распределений физических полей и вязкости земной коры / В.И. Васильев, Н.С. Жатнуев, Е.В. Васильева; правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – №2018662448 ; заявл. 06.11.2018 ; зарегистр. 14.11.2018 ; опублик. 14.11.2018, Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 11.
28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019613716. Российская федерация. Vladi Joint – программа для статистического моделирования поведения систем случайных поднимающихся флюидозаполненных трещин (полостей) в пластичной среде / Васильев В.И.; правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – № 2019612638 ; заявл. 14.03.2019 ; зарегистр. 21.03.2019 ; опублик. 21.03.2019, Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 4.
29. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019617548. Российская федерация. Vladi DisTerm – программа для двумерного моделирования теплового возмущения термоградиентной среды при внедрении магматического мигранта / Васильев В.И. ; правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – № 2019616467 ; заявл. 03.06.2019 ; зарегистр. 17.06.2019 ; опублик. 17.06.2019, Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 6.
30. Теплофизические свойства горных пород / В.В. Бабаев и др. – М. : Недра, 1987. – 56 с.
31. Уилли Р.Дж. Петрогенезис и физика Земли // Эволюция изверженных пород. – М. : Мир, 1983. – С. 468-503.
32. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск : Академ. изд-во «ГЕО», 2010. – 287 с.
33. Berman R.G., Aranovich L.Ya. Optimized standard state and solution properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO–MgO–CaO–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂ // Contrib. Mineralogy and Petrology. – 1996. – V. 126. – P. 1-24.

34. McKenzie D., Jackson J., Priestley K. Thermal structure of oceanic and continental lithosphere // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2005. – No. 233. – P. 337-349.

REFERENCES

1. Afanasiev V.N., Burtsev S.A., Egorov K. S., Kulagin A. Yu. A cylinder in the boundary layer of a flat plate // *Vestnik MGTU named after N.E. Bauman.* 2011. P. 3-22.
2. Vasiliev V.I. The Object-oriented approach in computer modelling of geological phenomena and processes // *Vestnik IrGSHA.* 2013. V. 57. Part 1. P. 79-86.
3. Vasiliev V.I. Software product Distant 4.0 for calculation of two-dimensional distributions of physical properties of the Earth's crust // *Tectonophysics and topical issues of Earth Sciences : Proceedings of the III all-Russian tectonophysical conference.* Moscow : IPE RAS, 2012. V. 2. P. 373-376.
4. Vasiliev V.I. Numerical physico-chemical model of the rise of free fluid in the subduction zone // *Modern problems of Geology, Geochemistry and Geocology of the Russian Far East. Proceedings of the II regional conference.* Vladivostok : Dalnauka, 2008. P. 108-110.
5. Vasiliev V.I., Vasilieva E.V., Zhatnuev N.S. Migration of fluid-filled cracks in the lithosphere by results of tectonophysical modeling // *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent) : Proceedings of the meeting.* Irkutsk : IEC SB RAS, 2008. V. 6. P. 54-56.
6. Vasiliev V.I., Vasilieva E.V., Zhatnuev N.S., Sanzhiev G.D. Parameters of the formation and evolution of the mantle-crust migrant // *Geoinformatika.* 2019. No. 2. P. 34-42.
7. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S. The thermodynamic model of the evolution of a fluid-filled fracture in the zone of a plastic-brittle transition // *Physicochemical and Petrophysical Studies in Earth Sciences: Materials of the X International Conference.* Moscow : IGEM RAS, 2009. P. 78-82.
8. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Vasilieva E.V. A numerical model of the rise of mantle fluid in the Baikal rift zone // *Petrography of igneous and metamorphic rocks: Materials of the XII All-Russian Petrographic Meeting with the participation of foreign scientists.* Petrozavodsk : KSC RAS, 2015. P. 114-116.
9. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Vasilieva E.V. A numerical thermodynamic model of the lifting of fluid-filled cracks through the zone of plastic-brittle transition // *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent) : Materials of the meeting.* Irkutsk : IEC SB RAS, 2009. V. 7, Part 1. P. 48-50.
10. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Rychagov S.N., Vasilieva E.V., Sanzhiev G.D. Mass transfer and mineral formation in magmatogen-hydrothermal systems according to the results of numerical physical and chemical modeling // *Lithosphere.* 2010. No. 3. P. 145-152.
11. Vasiliev V.I., Chudnenko K.V., Zhatnuev N.S., Vasilieva E.V. Integrated computer modeling of geological objects using the example of a section of the subduction zone // *Geoinformatika.* 2009. No. 3. P. 15-30.
12. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S. Tectonophysical modeling of the dynamics of fluid-filled cracks in the lithosphere // *Geochemistry and ore formation of radioactive, noble and rare metals in endogenous and exogenous processes : Materials of the All-Russian Conference with Foreign Participation dedicated to the 50th anniversary of the SB RAS and the 80th anniversary of Corr. RAS F.P. Krendelev.* April 16-18, 2007. Ulan-Ude : Publishing House of the BSC SB RAS, 2007. V. 2. P. 122-125.
13. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I. Evolution of fluid-filled crack in the lithosphere according to the results of tectonophysical modeling // *Modern problems of geology, geochemistry and geocology of the Russian Far East : Materials of the II regional conference.* Vladivostok : Dalnauka, 2008. P. 111-113.
14. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Sanzhiev G.D. Tectonophysical study of the dynamics of fluid-filled cavities in a solid plastic medium // *Tectonophysics and current issues of Earth sciences : Materials of the III All-Russian Tectonophysical Conference.* Moscow : IPE RAS, 2012. V. 1. P. 265-268.

15. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I., Sanzhiev G.D. The process of migration of fluid-filled cracks in the lithosphere according to the results of tectonophysical modeling // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent) : Materials of the meeting. Irkutsk : IEC SB RAS, 2010. V. 8. Part 1. P. 46-47.
16. Vasilieva E.V., Zhatnuev N.S., Vasiliev V.I., Sanzhiev G.D. The possibility of the participation of the mantle fluid in the formation of hydrotherms in the Baikal rift zone according to the results of tectonophysical and numerical physical and chemical modeling // Geology of Western Transbaikalia : Materials of the All-Russian Conference. Ulan-Ude : GIN SB RAS, 2011. P. 30-33.
17. Zhatnuev N.S. Dynamics of fractured fluid systems in the zone of plastic deformations // Lithosphere. 2006. No. 4. P. 149-158.
18. Zhatnuev N.S. Transmantle (intratelluric) fluids: a new model of plumes and plume-magmatism // Geology and Geophysics. 2016. V. 57, No. 8. P. 1445-1454.
19. Zhatnuev N.S. Transmantle fluid flows and the origin of plumes // Reports of the Russian Academy of Sciences. 2012. V. 444, No. 1. P. 50-55.
20. Zhatnuev N.S. Fractured fluid systems in the zone of plastic deformations // Reports of the Russian Academy of Sciences. 2005. V. 404, No. 3. P. 380-384.
21. Zhatnuev N.S., Vasiliev V.I., Sanzhiev G.D. Upward migration of fluids in the mantle. Conceptual, computational and analog models // Domestic Geology. 2013. No. 3. P. 24-30.
22. Karpov I.K. Physical-chemical computer simulation in geochemistry. Novosibirsk : Nauka, 1981. 247 p.
23. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Difference methods for solving heat conduction problems. Tomsk : TPU, 2007. 172 p.
24. Petrishchevsky A.M. Rheological and geothermal characteristics of the Okhotsk Plume // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of geological resources. 2016. V. 327, No. 2. P. 65-76.
25. Putilov K.A. Physics course. Moscow: Fizmatlitgiz, 1963. V. 1. 560 p.
26. Certificate of state registration of a computer program No. 2019613814. The Russian Federation. Vladi OverPressure – a software for parametric modeling of the formation and evolution of a mantle-crust migrant / Vasiliev V.I., Vasilieva E.V., Zhatnuev N.S. ; copyright holder GIN SB RAS (RU). – No. 2019612231 ; declared 06.03.2019 ; register. 22.03.2019 ; publ. 22.03.2019, The official bulletin «Computer programs. Database. Topologies of Integrated Circuits». No. 4.
27. Certificate of state registration of a computer program No. 2018664295. The Russian Federation. Vladi Distat – a software for calculating of two-dimensional distributions of physical fields and the viscosity of the earth's crust / V.I. Vasiliev, N.S. Zhatnuev, E.V. Vasiliev; copyright holder GIN SB RAS (RU). – No. 2018662448 ; declared 06.11.2018 ; register. 14.11.2018 ; publ. 14.11.2018, The official bulletin «Computer programs. Database. Topologies of Integrated Circuits». No. 11.
28. Certificate of state registration of a computer program No. 2019613716. The Russian Federation. Vladi Joint – a software for statistic modeling of behavior of random uprising fluid-filled fissures (cavities) systems in plastic medium / V.I. Vasiliev ; copyright holder GIN SB RAS (RU). – No. 2019612638 ; declared 14.03.2019 ; register. 21.03.2019 ; publ. 21.03.2019, The official bulletin «Computer programs. Database. Topologies of Integrated Circuits». No. 4.
29. Certificate of state registration of a computer program No. 2019617548. The Russian Federation. Vladi DisTerm – a software for two-dimensional modeling of thermal perturbation of thermogradient medium during magmatic migrant ingress / V.I. Vasiliev; copyright holder GIN SB RAS (RU). – No. 2019616467 ; declared 03.06.2019 ; register. 17.06.2019 ; publ. 17.06.2019, The official bulletin «Computer programs. Database. Topologies of Integrated Circuits». No. 6.
30. Thermophysical properties of rocks / V.V. Babaev et al. Moscow : Nedra, 1987. 156 p.

31. Willie R.J. Petrogenesis and physics of the Earth // Evolution of igneous rocks. Moscow : Mir, 1983. P. 468-503.
32. Chudnenko K.V. Thermodynamic modeling in Geochemistry: theory, algorithms, software, applications. Novosibirsk : Academic publishing house «GEO», 2010. 287 p.
33. Berman R.G., Aranovich L.Ya. Optimized standard state and solution properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO–MgO–CaO–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂ // Contrib. Mineralogy and Petrology. 1996. V. 126. P. 1-24.
34. McKenzie D., Jackson J., Priestley K. Thermal structure of oceanic and continental lithosphere // Earth Planet. Sci. Lett. 2005. No. 233. P. 337-349.

Васильев Владимир Игоревич, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: geovladi@ginst.ru.

Vasiliev Vladimir Igorevich, candidate of geological and mineralogical sciences, research fellow. Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A, E-mail: geovladi@ginst.ru.

Жатнуев Николай Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: zhat@ginst.ru.

Zhatnuev Nikolay Sergeevich, doctor of geological and mineralogical sciences, senior researcher. Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: zhat@ginst.ru.

Васильева Евгения Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: geovladi@ginst.ru.

Vasileva Eugenia Vladimirovna, candidate of geological and mineralogical sciences, research fellow. Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: geojenny@ginst.ru.

Кравцова В.И., Вахнина О.В., Харьковец Е.Г.

**Особенности методики дистанционных исследований дельт северных рек
(на примере дельты Енисея)**

Изучение динамики дельт северных рек осложнено рядом обстоятельств: а) замедленные темпы процессов, протекающих в условиях криолитозоны, обуславливают малую изменчивость дельт; б) краткость сезона возможных наблюдений после завершения весеннего половодья и до образования снежного покрова ограничивает выбор подходящих дат съемки концом июля–августом–сентябром; в) экранирование облачностью, погодные условия резко сокращают возможности выбора снимков. Дистанционные исследования динамики северных дельт за последние полвека опираются на снимки со спутника Landsat, для оценки современного состояния дельт используются снимки со спутника Sentinel с лучшим разрешением и частотой съемки. Для обеспечения сопоставимости снимков, полученных разными съемочными системами, проводится их взаимное геометрическое (трансформирование) и яркостное (приведение к общему делению по уровням яркости) согласование, выполняется выбор сопоставимых спектральных каналов. На основе анализа кривых спектральной яркости основных исследуемых объектов определяются каналы съемки, наиболее информативные для исследования динамики дельты. Для выбора оптимального метода автоматизированного выделения береговых линий опробовано несколько способов компьютерного разделения объектов «вода» и «суша»: кластеризация на два уровня с использованием всего набора спектральных каналов; то же по наиболее информативным каналам в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах спектра; создание индексных изображений (варианты водного индекса). Ввиду сложности устранения погрешностей, остающихся при использовании этих методов, оптимальным признано яркостное квантование снимков в ближней инфракрасной зоне, позволяющее использовать снимки наилучшего разрешения и последовательно уточнять выбранный для разделения уровень яркости на основе сопоставления результатов квантования с исходными синтезированными снимками. По снимкам Landsat-7 1999 г. и Sentinel-2B 2017 г. в ближней инфракрасной зоне, квантованным на яркостные уровни «вода»–«суша», получено растровое изображение дельты Енисея с контурами появления воды на месте суши (размыв берегов) и образования суши на месте воды (аккумуляция отложений). На его основе составляются карты динамики дельты. Предложено 3 типа карт разных масштабов и содержания, отражающих динамику дельты Енисея.

Ключевые слова: дельта, изменения, космические снимки, геометрическое и яркостное согласование, автоматизированное дешифрирование, картографирование динамики.

Kravtsova V.I., Vachnina O.V., Kharkovetz E.G.

**Features of remote sensing techniques for study the dynamics of northern river deltas
(using the example of the Yenisei River delta)**

The study of the dynamics of the deltas of the northern rivers is complicated by a number of circumstances: a) the slowed rates of the processes occurring in the cryolithozone condition determine the small variability of the deltas; b) the shortness of the season of possible observations after the completion of the spring flood and before the formation of snow cover limits the choice of suitable shooting dates by the end of July–August–September; c) cloudiness shielding, weather conditions drastically reduce the choice of images. Remote studies of the dynamics of the northern deltas over the past half century are based on images from the Landsat satellite; to assess the current state of the deltas, images from the Sentinel satellite with the best resolution and frequency of shooting are used. To ensure the comparability of images obtained

by different imaging systems, they are mutually geometrical (transformed) and brightness (brought to a common division by brightness levels) matching, selection of comparable spectral channels is performed. Based on the analysis of the spectral brightness curves of the main objects studied, the survey channels that are most informative for the study of delta dynamics are determined. To select the optimal method of automated isolation of coastlines, several methods of computer separation of water and land objects were tested: clustering into two levels using the entire set of spectral channels; the same for the most informative channels in the near and middle infrared spectrum; creating index images (water index options). Due to the complexity of eliminating the errors that remain with these methods, the luminance quantization of images in the near infrared zone is considered optimal, allowing the use of best-resolution images and sequentially refining the brightness level chosen for dividing based on comparing the quantization results with the original synthesized images. The Landsat-7 images of 1999 and Sentinel-2B 2017 in the near infrared zone, quantized to brightness levels «water»–«land», obtained a raster image of the Yenisei delta with contours of water appearing at the land (erosion of the coast) and land formation at the water location (accumulation of sediments). On its basis, maps of the delta dynamics are compiled. Three types of maps of different scales and contents reflecting the dynamics of the Yenisei delta are proposed.

Keywords: delta, changes, satellite imagery, geometric and brightness matching, automated interpretation, dynamics mapping.

Исследование выполнено по гранту РФФИ 18-05-60221.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ) [Электронный ресурс] // Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») : сайт. – URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (дата обращения: 15.01.2019).
2. Бородачев В.Е., Комов Н.И., Дворкин Е.Н. Многолетние стамухи в Карском море // Труды ААНИИ. – 1990. – Т. 418. – С. 107-115.
3. Катаев М.Ю., Бекетов А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады ГУСУРа. – 2017. – Т. 20, № 4. – С. 105-108.
4. Коротаев В.Н. Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. Избранные труды. – М. : Географический ф-т МГУ, 2012. – 540 с.
5. Кравцова В.И., Черепанова Е.В. Динамика дельт рек Енисея и Пура // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, № 3. – С. 304-311.
6. Курганович К.А., Носкова Е.В. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-восточного Забайкалья по данным дистанционного зондирования // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 6 (121). – С. 16-24.
7. Сафьянов Г.А., Шипилова Л.М. Морские факторы безопасности природопользования // Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. – М. : ГЕОС, 2007. – С. 441-473.
8. Эдельштейн К.К. Гидрология материков. – М. : Изд. центр «Академия», 2005. – 304 с.
9. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая : гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития / под ред. В.Н. Коротаева, В.Н. Михайлова, Д.Б. Бабича, Ли Цзунсяна и Лю Шугуана. – М. : ГЕОС, 2007. – 445 с.
10. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. – 2014. – No. 140. – P. 23-35.

REFERENCES

1. Automated Information System for Processing Regulated Information (AISORI) [Electronic resource] // All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center (FGBU «VNIHMI-WDC») : site. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (date of access: 15.01.2019).
2. Borodachev V.Ye., Komov N.I., Dvorkin Ye.N. Perennial Stamukhs in the Kara Sea // Works of AANIL. 1990. V. 418. P. 107-115.
3. Kataev M.Yu., Beketov A.A. Methods of detecting water bodies by multispectral satellite measurements // Reports of TUSUR. 2017. V. 20, No. 4. P. 105-108.
4. Korotayev V.N. Essays on the geomorphology of estuary and coastal systems. Selected Works. Moscow : Geograficheskiy f-t MGU. 2012. 540 p.
5. Kravtsova V.I., Cherepanova Ye.V. Dynamics of the Yenisei and Pur river deltas // Water Resources. 2003. V. 30, No. 3. P. 304-311.
6. Kurganovich K.A., Noskova E.V. The use of water indices for estimating changes in water surface areas of steppe soda lakes of the southeastern Transbaikalia according to remote sensing data // Bulletin of Transbaikalian State University. 2015. No. 6 (121). P. 16-24.
7. Saf'yanov G.A., Shipilova L.M. Marine factors of environmental safety // Geocological condition of the Arctic coast of Russia and safety of nature management. Moscow : GEOS, 2007. P. 441-473.
8. Edel'shteyn K.K. Continental hydrology. Moscow : Izd. Tsentr «Akademiya», 2005. 304 p.
9. Estuarine-deltaic systems of Russia and China : hydrological-morphological processes, geomorphology and prediction of evolution. Moscow : GEOS. 2007. 445 p.
10. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. No. 140. P. 23-35.

Кравцова Валентина Ивановна, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, Географический факультет. E-mail: valentinamsu@yandex.ru.

Kravtsova Valentina Ivanovna, doctor of geographical sciences, leading researcher of Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: valentinamsu@yandex.ru.

Вахнина Ольга Васильевна, научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, Географический факультет. E-mail: vachnina-ov@yandex.ru.

Vachnina Olga Vasilyevna, research scientist of Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: vachnina-ov@yandex.ru.

Харьковец Евгений Георгиевич, старший научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, Географический факультет. E-mail: e_x@lakm.geogr.msu.ru.

Kharkovetz Evgeniy Georgievich, Senior research scientist of Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: e_x@lakm.geogr.msu.ru.